



TITLE:

Study on Miniaturization of Plasma Wave Measurement Systems(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Zushi, Takahiro

CITATION:

Zushi, Takahiro. Study on Miniaturization of Plasma Wave Measurement Systems. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21769>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により要約は2020-03-25に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	頭師 孝拓
論文題目	Study on Miniaturization of Plasma Wave Measurement Systems (プラズマ波動観測システムの小型化に関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、宇宙空間でプラズマ波動の観測を行うシステムについて、その小型化を目的とした専用集積回路の研究・開発と、集積回路を利用したプラズマ波動観測システムの小型化についてまとめられたものであり、7章から構成されている。本論文の構成は以下の通りである。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の研究背景として地球磁気圏における電磁環境について紹介し、そのような宇宙電磁環境の探査におけるプラズマ波動観測の重要性について述べている。また、プラズマ波動観測器の構成と従来用いられてきた各種のプラズマ波動受信器についてまとめている。そして、本論文で取り組むプラズマ波動観測システムの小型化が今後の宇宙電磁環境探査において大きな意味をもつことを述べている。</p> <p>第2章では、本研究における主要な小型化手法である特定用途向け集積回路(ASIC: Application Specific Integrated Circuit)について、その概要、及び、従来の回路実装方法と比べた際の利点・欠点を述べている。本研究において用いるアナログ ASIC、デジタル ASIC それぞれの設計方法についても説明している。</p> <p>第3章では、先行研究において開発された波形捕捉プラズマ波動受信器用 ASIC における問題点の改良について、その方法と結果を示している。先行研究による ASIC においては、メインアンプにおけるオフセット電圧・大きな高調波歪み・回路全体の入力範囲の狭さの3点が問題となっていた。本研究ではそれらに対する改良を行った。本章では改良の詳細および、その結果について示している。</p> <p>第4章では、ASIC を利用して実現した SS-520-3 号機ロケット実験搭載用プラズマ波動観測器である Low Frequency plasma wave Analyzer System(LFAS)について、その設計の詳細と試験の結果について述べている。SS-520-3 号機ロケット実験は極域カスプにおけるイオン流出機構の解明を目的として計画されたロケット実験であり、イオン流出に至る機構として有力視されている波動-粒子相互作用の直接観測が大きな目的のひとつである。本章ではまず、イオン流出現象に関する研究の現在とこれまでの観測結果について述べ、そして SS-520-3 号機ロケット実験および LFAS の概要について示している。LFAS に搭載された受信器のひとつである Wave-Form Capture(WFC)は、粒子データとプラズマ波動データを高い時間精度で同期させることにより、波動-粒子相互作用の直接観測を行うことができる。WFC は ASIC 及び Field-Programmable Gate Array(FPGA)を用いることで小型化を実現しており、本章後半ではその設計の詳細を述べている。さらに、WFC の性能試験結果より電界観測性能を算出し、小型ながら対象とする波動の観測に十分な性能を有していることを示している。</p> <p>第5章では、高い空間分解能でプラズマ波動の多点同時観測を実現するための観測システムである小型センサープローブについて述べている。近年はプラズマ波動の多点同時観測が重要視されており、複数衛星の編隊飛行による同時観測ミッションも実施されている。本章では、より高い空間分解能を得ることのできる多点同時観測システムへの利用を見据えた、小型のプラズマ波動観測システムであるセンサープローブの開発について述べている。本研究で開発したセンサープローブは ASIC を利用するこ</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	頭師 孝拓
<p>とで小型化が可能となり、7.5 cm x 7.5 cm x 7.5 cm の筐体に必要な電子回路およびバッテリーを搭載し、筐体外部には各 3 成分を測定可能な電界および磁界センサーを搭載している。本章では、開発したセンサプローブの電界観測性能を測定し、対象とするプラズマ波動の観測およびそのデータ伝送が可能であることを示した。</p> <p>第 6 章では、従来の受信器における問題を解決する新しい構成のスペクトルプラズマ波動受信器について述べている。近年用いられるスペクトルプラズマ波動受信器の多くは波形捕捉受信器とアナログ回路を共用している。このような受信器は広帯域であるため、メインアンプのゲインを観測される波動の最も強度の高い周波数帯域に合わせて設定する必要がある、弱い信号が観測される周波数帯域では不利となる欠点を抱えている。本章ではまず、従来のスペクトル受信器の欠点を解消可能な新型受信器が ASIC を利用することで実現できることを述べ、その設計について示している。新型受信器は、外部信号によりフィルタのカットオフ周波数及びアンプゲインが制御されるアナログ部と、デジタル信号処理及び受信器全体の制御を行うデジタル部から構成されている。そして、新型受信器に必要とされる、外部信号により観測帯域と受信器ゲインを変更することのできるアナログ部を ASIC として設計し評価を行った結果について述べている。また受信器デジタル部はハードウェア記述言語を用いて設計している。これらの新型受信器用回路を、アナログ部は ASIC として、デジタルは FPGA を用いて実装し、提案している受信器が小型で実現可能であることを示している。さらに、設計したデジタル回路をデジタル ASIC でも設計し、今後さらなる小型化及び省電力化が可能であることを示している。</p> <p>第 7 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、今後の展望を示している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、無衝突宇宙プラズマ系の環境決定に重要な役割を担うプラズマ波動を捉える「プラズマ波動観測システム」の小型化について、その専用チップ化により実現する研究・開発についてまとめられている。本論文で得られた結果は以下の通りである。

1. 波形捕捉プラズマ波動受信器専用の特定用途向け集積回路(ASIC: Application Specific Integrated Circuit)において課題となっていた、オフセット電圧・波形歪み・入出力範囲の狭さの3点について、それぞれ回路の改良を行った。これにより、専用チップの性能向上を実現した。

2. カスプ領域におけるイオン流出機構の解明を目的とした観測ロケット搭載用プラズマ波動観測器の開発を行った。観測器はASICによって小型化をはかり、またイオンの加速機構として有力視されている波動-粒子相互作用を定量的に捉えるWPIA(Wave-Particle Interaction Analyzer)を実現するため、イオン観測器との同期を実現させた。開発した観測器について、ロケット実験環境で正常に動作し、対象とするプラズマ波動を十分な感度で観測可能な性能を有していることを示し、ASICを用いたロケット実験搭載用観測器の実現に成功した。

3. 宇宙電磁環境の多点同時観測に向けた小型センサープローブの開発を行った。センサープローブはASICの利用によって、7.5cm x 7.5cm x 7.5cmという超小型筐体に必要な電子回路全てを搭載した上で、筐体外部に電磁界センサーを実装している。センサープローブの試験結果から典型的なプラズマ波動の観測が可能であることを示し、小型センサープローブの実現に成功した。

4. 新型のスペクトルプラズマ波動受信器を提案しその開発を行った。新型スペクトル受信器は従来の広帯域受信器をベースとしたスペクトル受信器にみられる感度不足という欠点を克服するため、ASICの利点を活かし、フィルタのカットオフ周波数やアンブゲインを観測帯域に従ってサンプリング周波数と同期してダイナミックに変化させる。この従来と異なる新型スペクトルプラズマ波動受信器をASICおよびデジタル部FPGAの組みあわせによって実現することに成功した。

本論文は、宇宙電磁環境を理解する上で非常に重要な役割を担うプラズマ波動観測器において、ASICを用いてその性能向上をはかり、また新型受信器とシステムの小型化を実現した。これらは、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成31年2月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。